

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми зумовлена створенням засобів та технологій, що дозволять підвищити енергоефективність комплексного перетворення енергії низькопотенційних вторинних енергетичних ресурсів і поліпшити ефективність роботи котельних станцій. Йдеться про активацію паливної суміші, яка дозволяє забезпечити зростання її теплотворної здатності, підвищити якість перетворення енергії та ощадливо використовувати паливну сировину. Спалювати водно-мазутну емульсію доцільно за допомогою пристроїв – емульгаторів, а для створення якісної емульсії потрібно застосовувати системи автоматичного регулювання подаванням води (АРПВ) на відповідний вхід емульгатора. Значний внесок у розроблення та створення пристроїв і систем керування процесами зволоження матеріалів зробили такі вчені, як А.С. Чунін, Є.П. Пендюхов, А.М. Мелік-Шахназаров, В.А. Дмитрієв, А.В. Бедарєв, В.С. Безменов, М.Д. Гончаров, А.В. Авдєєв, Н.Г. Горелік, Б.В. Радзієвський та С.А. Кіжаєв. Для створення якісної водно-мазутної емульсії потрібно підвищити точність контролю вологості котельного палива. Значний внесок в дослідження властивостей діелектричних середовищ та розроблення пристроїв неруйнівного контролю (вологомірів) зробили такі вчені, як М.А. Берлінер, Є.С. Кричевський, В.К. Бензар, Н.С. Дубров, Б.І. Нєвзлін, В.С. Ройфе, С.І. Пятін, В.Л. Беляков, Г.Ф. Большаков, А.Г. Вовченко, В.С. Осадчук, Ю.О. Скрипник, М.В. Гунбін, А.О. Потапов, А.Т. Пасечник. Щоб визначити якість (октанове число) авіаційного та автомобільного палива традиційно застосовують випробувальний двигун внутрішнього згорання. Процес визначення октанового числа у такий спосіб є досить тривалим та дорогим. Можливість вирішення цієї задачі дієлькометричним методом розглянута В.Н. Астаповим, Б.В. Скворцовим, Є.А. Забойніковим, І.Р. Васильєвим, які встановили, що октанове число, а саме наявність ароматичних вуглеводнів, безпосередньо впливає на величину комплексної діелектричної проникності. Підвищити техніко – економічні показники систем керування процесами зволоження матеріалів можливо застосовуючи нові принципи керування і удосконалюючи структуру автоматичних систем з метою підвищення точності регулювання. Тому удосконалення принципу керування виконавчим механізмом системи АРПВ, вдосконалення структури такої системи і моделювання режимів її роботи за змінювання часу запізнення у широкому діапазоні, спрямовані на підвищення точності регулювання, а також розроблення оптимальних за точністю і енергоспоживанням перетворювачів вологості, вдосконалення математичної моделі залежності діелектричної проникності матеріалу від вмісту вологи та засобів повірки вологомірів сипких матеріалів є актуальними задачами, вирішенню яких і присвячена дисертація.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до положень державної науково-технічної програми “Енергоефективні та ресурсозберігаючі технології генерування, перетворення та використання енергії. Створення

засобів і технологій підвищення енергоефективності комплексного перетворення енергії сонця, вітру, біомаси та низькопотенційних вторинних енергетичних ресурсів” та відповідно до положень державної науково-технічної програми “Утилізація та знешкодження небезпечних викидів і скидів”.

Дисертаційну роботу виконано відповідно до держбюджетних фундаментальних науково-дослідних робіт: “Розробка математичних моделей і методів оптимізації систем контролю палива аерокосмічних об’єктів в нестационарних умовах” (№ ДР 0103U004092), “Моделювання та розробка систем контролю палива аерокосмічних об’єктів при наявності збурень” (№ ДР 0100U003430) і договором про співробітництво № 2/02 від 14.07. 2002 р. між підприємством “Авіатест. Центр із сертифікації авіаційної техніки” (м. Харків) та ООО фірмою “Сампо” (м. Харків) про розроблення та створення пристрою для вхідного контролю якості котельного палива, розроблення та створення системи автоматичного регулювання подаванням води на вхід емульгатора.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертації є аналіз та синтез автоматичних систем керування процесами зволоження матеріалів на основі моделювання та удосконалення принципу керування виконавчим механізмом, спрямованого на підвищення точності регулювання і зниження енергоспоживання.

Задачі дослідження:

- аналіз методів, систем та пристроїв для вимірювання і керування зволоженням матеріалів;
- удосконалення принципу керування і структури системи автоматичного регулювання подаванням води, спрямоване на підвищення точності регулювання і створення малогабаритної, простої в експлуатації системи із гнучкою конструкцією;
- моделювання режимів роботи системи автоматичного регулювання подаванням води у котельне паливо за змінювання часу запізнення в широкому діапазоні і за різної кількості електродвигунів у виконавчому механізмі, що спрямоване на підвищення точності регулювання;
- удосконалення математичної моделі залежності діелектричної проникності матеріалу від вмісту вологи;
- отримання математичних моделей перетворювача вологості нафтопродуктів для оптимізації його схемних параметрів за точністю та енергоспоживанням;
- розроблення первинних перетворювачів вологості сипких матеріалів з підвищеною точністю;
- упровадження результатів дисертаційної роботи в промисловість і навчальний процес вищого навчального закладу.

Об’єкт дослідження – процеси зволоження матеріалів.

Предмет дослідження – моделі і технічні засоби, призначені для підвищення техніко – економічних показників систем керування процесами зволоження матеріалів.

Методи дослідження ґрунтуються на використанні: положень теорії розрахунку та аналізу стійкості нелінійних систем автоматичного керування із запізненням; процедури ітераційного планування експерименту і метода побудови матриць планування експерименту з урахуванням вартості його реалізації; положень теорії просторових характеристик електричного поля.

Визначення критичного часу запізнення системи АРПВ, точності регулювання та області її стійкості проводились аналітично за методом В.М. Попова та в системі Matlab (середовище Simulink). Математичні моделі вимірювача вологості, що характеризують залежність рівня енергоспоживання та точності від його схемних параметрів були отримані із використанням процедури ітераційного планування експерименту. Застосування метода планування оптимального за вартістю експерименту дозволило синтезувати математичну модель, яка відтворює зміну діелектричної проникності нафтопродукту залежно від вмісту води. Вираз для визначення ємності давача вологості нафтопродуктів було отримано із використанням теорії просторових характеристик електричного поля.

Наукова новизна одержаних результатів.

Уперше на основі процедури ітераційного планування експерименту одержано математичні моделі пристрою для вимірювання вологості нафтопродуктів, що дозволило визначити оптимальні схемні параметри вологоміра, які забезпечують зниження абсолютної похибки вимірів та споживаної потужності.

Удосконалено принцип керування електроклапанами виконавчого механізму системи автоматичного регулювання подаванням води, який полягає в отриманні на виході виконавчого механізму квантованого за рівнем вхідного потоку рідини, що дозволило безперервно її подавати із підвищеною точністю дозування.

Удосконалено структуру системи автоматичного регулювання подаванням води шляхом використання регулятора витрати води у формі двійково – реверсивного лічильника, спорядженого задавачем швидкості відпрацювання керівного сигналу, що дозволило здійснити моделювання режимів роботи системи за змінювання часу запізнення в широкому діапазоні із різною кількістю електроклапанів виконавчого механізму, спрямоване на досягнення підвищеної точності регулювання, і створити малогабаритну, просту в експлуатації систему з гнучкою конструкцією, пристосовану до різних типів емульгаторів.

Дістав подальшого розвитку синтез математичної моделі залежності діелектричної проникності двофазної водно-паливної емульсії від вмісту води, який відрізняється тим, що для її синтезу застосовано метод планування оптимального за вартістю експерименту, а отримана завдяки його використанню математична модель дозволяє калібрувати ємнісні вологоміри і вологометричні системи за спрощеною схемою.

Практичне значення одержаних результатів. За результатами проведених досліджень було створено систему автоматичного регулювання подаванням води в котельне паливо, яка складається з вимірювача вологості, блоку регулювання та виконавчого механізму. Використання нового принципу керування виконавчим механізмом дозволило створити гнучку і просту в використанні систему, що має менші порівняно з аналогами масогабаритні характеристики та підвищену точність регулювання. Систему спільно з емульгатором призначено для виготовлення стійкої водно-паливної емульсії з певним вмістом вологи. Спалювання такої емульсії дозволяє поліпшити процес згорання, знизити рівень диму та шкідливих викидів в атмосферу, зменшити витрати палива.

На основі проведених досліджень було створено вимірювач вологості матеріалів, що має просту конструкцію і забезпечує підвищену точність вимірів, призначений для вимірювання вологості нафтопродуктів (із давачем вологості нафтопродуктів) або сипких матеріалів (із давачем вологості сипких матеріалів). Вимірювач вологості нафтопродуктів впроваджено в таких організаціях: Центральний військовий санаторій – Гурзуфський філіал центру ТКР “Крим” (акт впровадження від 26.12.2001); Міжнародний дитячий центр “Артек” (акт впровадження від 26.12.2002); Джанкойська філія АП Кримтеплокомуненерго на двох котельних станціях (акт впровадження від 11.04.2003); Ялтинська філія АП Кримтеплокомуненерго на двох котельних станціях (акт впровадження від 27.06.2003).

Результати синтезу структури автоматичної системи дозування рідинних матеріалів і моделювання режимів її роботи, а також результати досліджень з удосконалення засобів вимірювання октанових чисел авіаційних бензинів впроваджені в ОАО “Авіаконтроль” (акт впровадження від 27.11.2003).

Методика створення математичних моделей, а також результати удосконалення засобів вимірювання вологості, перевірки та градування ємнісних вологомірів впроваджено в навчальний процес Національного аерокосмічного університету “ХАІ” (акт впровадження від 21.11.2003).

Особистий внесок здобувача. Основні положення і результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Здобувачеві належать:

- принцип керування електроклапанами виконавчого механізму і функційна схема системи АРПВ, удосконалена завдяки використанню регулятора витрати води в формі двійково – реверсивного лічильника із задавачем швидкості відпрацювання керівного сигналу;
- розробка функційної та електричної схеми вимірювача вологості із підвищеною точністю вимірів; синтез математичних моделей вимірювача вологості нафтопродуктів і оптимізація його схемних параметрів за точністю та енергоспоживанням;

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень, викладені в дисертації, було апробовано на наукових конференціях, серед яких: науково-технічна конференція «Системы

управления – 2000» (Харків, ХАІ, 2000 р.); науково-технічна конференція «Системы управления – 2001» (Харків, ХАІ, 2001 р.); міжнародна науково-технічна конференція «Інформаційна техніка та електромеханіка на порозі ХХІ-го століття» (ІТЕМ-2001) (Луганськ, 2001 р.); міжнародна науково-технічна конференція «Мехатроніка-2001» (Харків, Харківський національний автомобільно-дорожній університет (ХНАДУ), 2001 р.); міжнародна науково-технічна конференція «ІКТМ - 2001» (Харків, ХАІ, 2001 р.); міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» (Харків, Харківський державний технічний університет сільського господарства (ХДТУСГ), 2001 р.); міжнародна науково-технічна конференція «Приладобудування – 2001» (Симеїз, 2001 р.); міжнародна науково-технічна конференція «Приборостроение - 2002» (Вінниця-Алупка, 2002 р.); міжнародна науково-технічна конференція «ІКТМ - 2002» (Харків, Національний аерокосмічний університет «ХАІ», 2002 р.); міжнародна науково-технічна конференція «Гиротехнологии, навигация, управление движением и конструирование авиационно-космической техники» (Київ, КПІ, 2003 р.); міжнародний симпозіум «Наука и предпринимательство» (Вінниця-Каменець-Подольський, 2003 р.); міжнародна науково-технічна конференція «ІКТМ-2003» (Харків, Національний аерокосмічний університет «ХАІ», 2003 р.); міжнародна науково-технічна конференція «Приборостроение-2003» (Вінниця-Кореїз, 2003 р.).

Публікації. Основні результати дисертації опубліковано в 26 наукових працях, з яких: 5 статей в наукових журналах, 9 статей в збірниках наукових праць, 8 патентів України, 4 тези доповідей.

Обсяг і структура дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, 5 розділів, висновків та 6 додатків. Повний обсяг дисертації 182 сторінки, містить 71 рисунок, з них 69 ілюстрацій по тексту, 2 ілюстрації на 2 сторінках, 23 таблиці по тексту, 6 додатків на 20 сторінках, 117 найменувань використаних літературних джерел на 11 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** до дисертації обґрунтовано актуальність проблеми досліджень, сформульовано мету роботи та задачі дослідження. Дано характеристику наукової новизни та практичної цінності отриманих результатів. Показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

В **першому розділі** проведено аналіз сучасних систем керування вмістом вологи у нафтопродуктах і сипких матеріалах. Проведений аналіз показав, що наявні системи та пристрої регулювання вологості непридатні для подавання дозованої кількості води в котельне паливо через низьку точність регулювання або через складність та громіздкість. Часті випадки постачання неякісного котельного палива із початковим вмістом води $5 \div 15\%$ роблять непридатними для використання системи, не здатні визначати і враховувати вологість паливної сировини: системи

вагового обліку, пневматичного дозування, системи змішування компонентів з урахуванням їх витрати. Отже, виникла потреба створити власну систему керування зволоженням матеріалів. В результаті аналізу серед наявних методів вимірювання обрано діелькометричний, як такий, що дозволяє створювати відносно прості прилади, менш чутливі до хімічного складу матеріалу. Зважаючи на те, що якість регулювання визначеним параметром значною мірою залежить від точності його вимірів, проведено аналіз сучасних вимірювачів вологості. У результаті аналізу виявилось, що серед сучасних вологомірів відсутні недорогі, портативні, нескладні в експлуатації і в той же час точні прилади, а це свідчить про потребу їх розроблення. Аналіз наявних ємнісних давачів вологості показав, що сучасні пристрої не задовольняють установленим вимогам як для нафтопродуктів, так і для сипких матеріалів. На основі наявних літературних джерел визначено мету і задачі досліджень.

Другий розділ присвячено розробленню та дослідженню системи автоматичного регулювання подаванням води у змішувальний резервуар емульгатора для автоматичного виготовлення якісної водно-паливної суміші. Ефективність систем керування істотно залежить від точності відпрацювання виконавчими механізмами керівних сигналів. Традиційне використання як виконавчих механізмів дискових затворів із трифазними асинхронними двигунами не забезпечує потрібної якості регулювання через інерційність. Так, наприклад, зупинка виконавчого механізму системи автоматичного регулювання рівнем гліколя в абсорбенті здійснюється через 3 с після зникнення керівного сигналу. Похибка витрати гліколя в цьому випадку може досягати 40%. Застосування ж пристроїв прямого та реверсного гальмування за відповідними законами керування призводить до ускладнення апаратної реалізації системи і істотного зниження рівня пожежобезпеки. У зв'язку з цим було прийняте рішення застосувати принцип керування виконавчим механізмом, який полягає в отриманні на його виході квантованого за рівнем вхідного потоку рідини.

Удосконалена структура системи автоматичного регулювання подаванням води, що відповідає вищенаведеному принципу, складається з регулятора витрати води у формі двійково-реверсивного лічильника, спорядженого задавачем швидкості відпрацювання керівного сигналу (рис. 1). Регулятор витрати води за отриманими зі схеми порівняння сигналами керує виконавчим механізмом, який являє собою систему електроклапанів, шляхом послідовного формування N – розрядного двійкового коду для миттєвого перемикання електроклапанів в потрібні положення (рис. 2). Вихід кожного електроклапана з'єднано з відповідним кульовим краном, відкаліброваним на відповідне значення площі живого перерізу. Кульові крани призначено для плавного дозування. Точність дозування визначає мінімальна площа перерізу відповідного кульового крану, а розміри перерізів обрано із співвідношення $2^1:2^2:2^i: \dots :2^N$. На індикаторі правильності роботи видно послідовність і швидкість відпрацювання керівних сигналів.

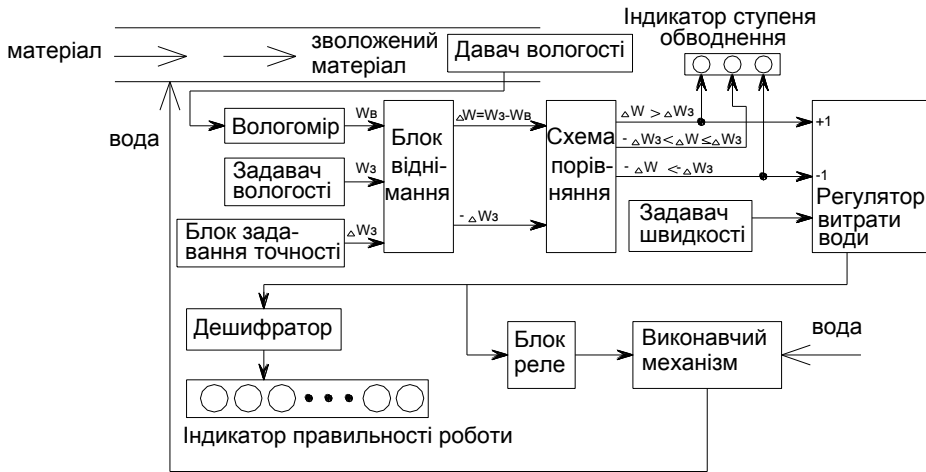


Рис. 1. Функційна схема системи АПРВ

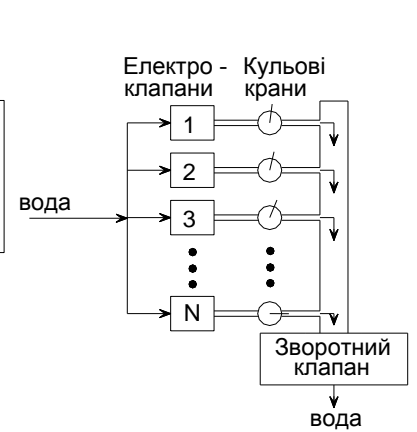


Рис. 2. Виконавчий механізм

Для дослідження розробленої системи було синтезовано структурну схему та передатні функції дискретних ланок (рис. 3).

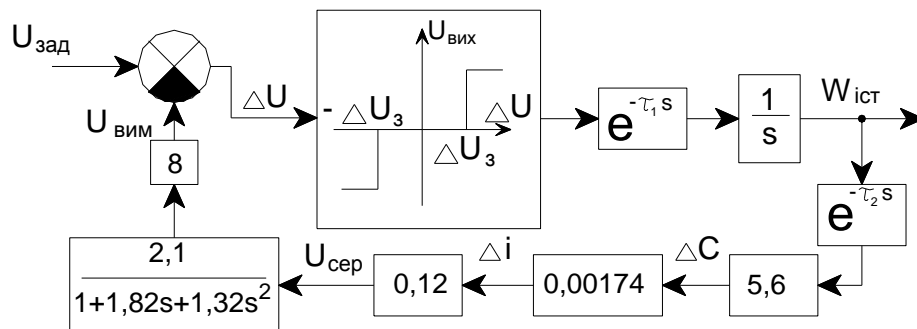


Рис. 3. Структурна схема системи АПРВ

За допомогою пакета Matlab 6.0 в середовищі Simulink одержано перехідні процеси системи за східчастого вхідного сигналу 20% вологості. Результати моделювання для випадку застосування трьох електроклапанів у виконавчому механізмі показали таке: усунення початкових автоколивань системи та досягнення високої точності регулювання (0,5%) можливі шляхом зменшення перерізу відповідних кульових кранів (рис. 4). За допомогою того ж способу забезпечено стійку роботу системи за змінювання часу запізнення від 2,32 до 37 с; стає значення кривої перехідного процесу перевищує задане на 0,5% та перебуває в межах зони нечутливості; у разі досягнення критичного часу запізнення має місце перерегулювання зі значенням 25% від сталого значення; автоколивання виникають у разі запізнення в 38 с та більшому.

У випадку з трьома електроклапанами досягнення потрібної точності регулювання потребує додаткової настройки. В результаті подальших досліджень було виявлено, що для досягнення точності регулювання 0,25% без додаткових настройок достатньо використати вісім електроклапанів (рис. 5). Перехідні процеси системи для цього випадку показали таке: має місце

мінімум похибки регулювання для значення часу запізнення 15 с, висока точність регулювання (від 0,25% до 0,3%) зберігається у діапазоні часу запізнення від 10 с до 15 с; час запізнення 27,6 с є критичним.

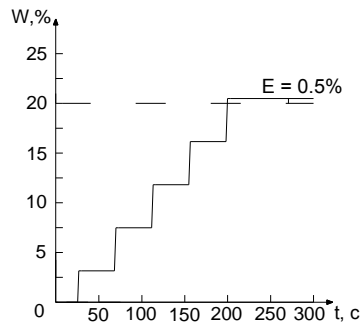


Рис. 4. Перехідний процес системи для трьох електроклапанів

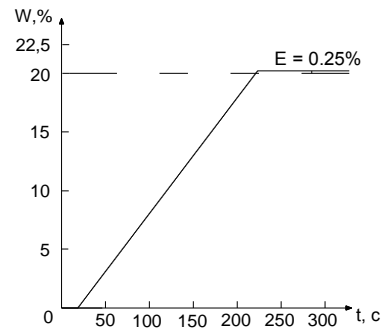


Рис. 5. Перехідний процес системи для восьми електроклапанів

За потреби використати більшу кількість електроклапанів передатну функцію реверсивного лічильника в сукупності з виконавчим механізмом доцільно представляти інтегрувальною ланкою та застосувати для аналізу метод В.М. Попова. Структурну схему системи АРПВ для такого випадку представлено на рис. 6.

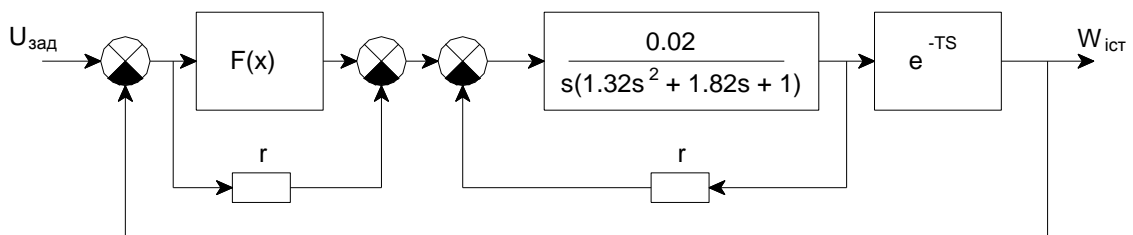


Рис. 6. Структурна схема системи АРПВ

Передатну функцію системи згідно з рис. 6 з урахуванням ланки запізнення визначено як:

$$W_1(j\omega) = \frac{k_{\text{л}}k_{\text{н}}(rk_{\text{л}}k_{\text{н}} - 1,82\omega^2)\cos\omega\tau - j\sin\omega\tau \cdot k_{\text{л}}k_{\text{н}}(rk_{\text{л}}k_{\text{н}} - 1,82\omega^2)}{(rk_{\text{л}}k_{\text{н}} - 1,82\omega^2)^2 + \omega^2(1 - 1,32\omega^2)^2} - \frac{j\omega(1 - 1,32\omega^2)k_{\text{л}}k_{\text{н}}\cos\omega\tau + \omega(1 - 1,32\omega^2)k_{\text{л}}k_{\text{н}}\sin\omega\tau}{(rk_{\text{л}}k_{\text{н}} - 1,82\omega^2)^2 + \omega^2(1 - 1,32\omega^2)^2},$$

де: $k_{\text{л}} = 0,02$, $k_{\text{н}} = 16,7$, $r = 1$;

Дійсна $P^*(\omega)$ та уявна $Q^*(\omega)$ частини перетвореної амплітудно-фазової характеристики матимуть таку форму:

$$P^*(\omega) = \frac{k_{\text{л}}k_{\text{н}}(rk_{\text{л}}k_{\text{н}} - 1,82\omega^2)\cos\omega\tau - \omega(1 - 1,32\omega^2)k_{\text{л}}k_{\text{н}}\sin\omega\tau}{(rk_{\text{л}}k_{\text{н}} - 1,82\omega^2)^2 + \omega^2(1 - 1,32\omega^2)^2};$$

$$Q^*(\omega) = -\frac{\omega(\sin \omega\tau \cdot k_L k_H (rk_L k_H - 1,82\omega^2) + \omega(1 - 1,32\omega^2) k_L k_H \cos \omega\tau)}{(rk_L k_H - 1,82\omega^2)^2 + \omega^2(1 - 1,32\omega^2)^2}$$

Побудову характеристик $P^*(\omega)=f[Q^*(\omega)]$ за змінювання значення часу запізнення τ від $\tau_{\min} = 2,32$ с до $\tau = 40$ с було здійснено у системі Mathcad 2001. На перетворених АФЧХ системи видно, що стійкість системи зберігається у разі зміни часу запізнення від 2,32 до 39 с. За запізнення 2,32 с система має максимальний запас стійкості: 1,63 за модулем та 175° за фазою. З ростом часу запізнення запас стійкості зменшується.

В **третьому розділі** досліджене питання підвищення точності регулювання подаванням води системою АРПВ шляхом розроблення точного і чутливого вимірювача вологості беручи до уваги той факт, що якість регулювання залежить не тільки від точності відпрацювання виконавчим механізмом керівних сигналів, а й від точності визначення вологості. Функційну схему розробленого пристрою представлено на рис. 7.

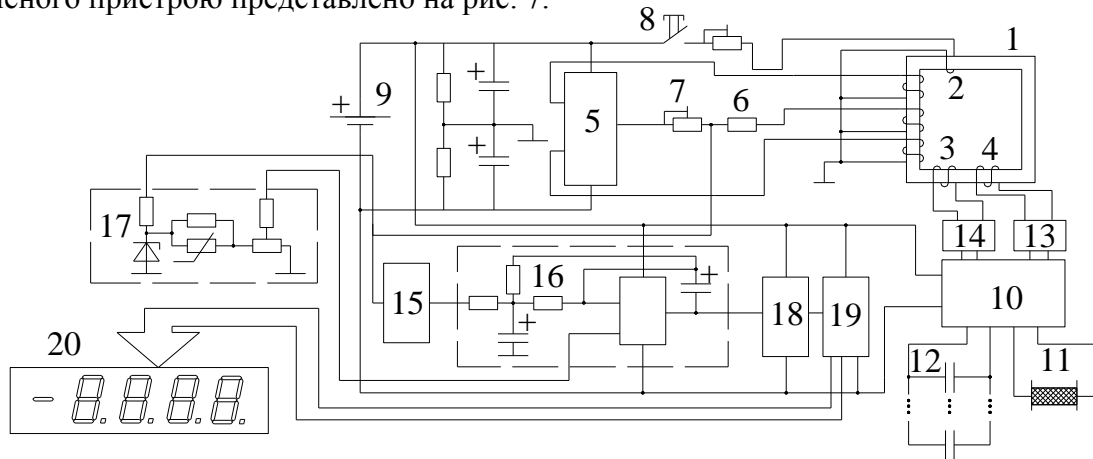


Рис. 7. Функційна схема вимірювача вологості матеріалів,

1- магніточутливий перетворювач; 2 – виток проводу; 3, 4 – додаткові обмотки; 5 – операційний підсилювач; 6 – резистор зворотного зв'язку; 7 – змінний резистор; 8 – вимикач; 9 – джерело живлення; 10 – мультивібратор; 11 – вимірювальний перетворювач; 12 – магазин еталонних ємностей; 13, 14 – випростовувачі; 15 – формувач сигналів; 16 – фільтр низьких частот; 17 – схема температурної компенсації; 18 – підсилювач; 19 – АЦП; 20 – індикатор.

Пристрій працює так. Зростання діелектричної проникності вологого матеріалу, зумовлене зростанням вологості, фіксує датчик 11. Приріст його ємності відносно еталонної з магазину ємностей 12 перетворюється в мультивібраторі 10 та випростовувачах 13, 14 в пропорційне значення постійного різницевого струму, сформованого додатковими обмотками 3,4. Зміна цього струму викликає пропорційну зміну скважності прямокутних двополярних імпульсів на виході операційного підсилювача 5, причому частота імпульсів лишається незмінною. Формувач сигналів 15 перетворює сигнал з виходу операційного підсилювача на уніполярні імпульси позитивної полярності з тим самим значенням частоти. Після проходження цим

сигналом фільтра низьких частот 16 та підсилювача 18 утворюється постійний сигнал, значення якого пропорційне вологості матеріалу.

Розроблено нові первинні вимірювальні перетворювачі для вимірювання вологості рідинних діелектриків, що задовольняють сучасним вимогам вимірювання в робочому потоці рідини і мають високу чутливість. Як зображено на рис. 8, ємнісний давач вологості складається з електродів трапецієподібної форми (електроди 1, 2, 3) та електродів у формі пластин V – подібної форми. Систему електродів жорстко закріплено на внутрішній поверхні двох діелектричних кілець 5. Саме таку конструкцію було використано для вимірювання вологості мазутів у трубопроводі та в приладах вхідного контролю якості нафтопродуктів. Повний математичний вираз

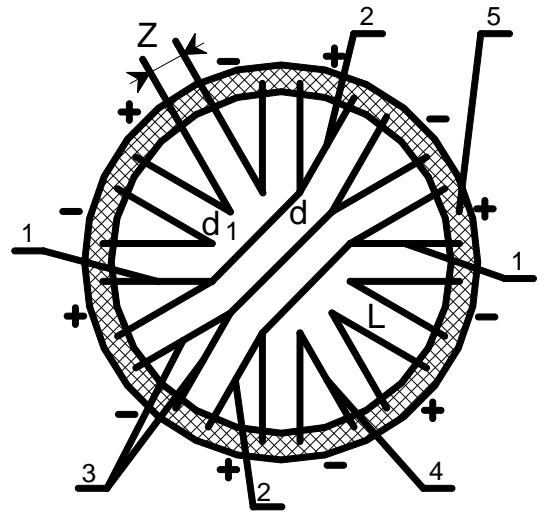


Рис. 8. Ємнісний давач вологості

для обчислення початкової ємності вимірювального перетворювача, зображеного на рис. 8, складається з трьох складників (ємності, створеної V – подібними електродами C_{01} , ємності, створеної центральними частинами трапецієподібних електродів C_{02} , та ємності, яка є результатом взаємодії V – подібних електродів з центральними частинами трапецієподібних C_{03}) і має таку форму:

$$C_{01} = \varepsilon_o \varepsilon \left[\frac{L \cdot l}{Z} + 2 \left(0.26(l + L) + \frac{1}{\pi} \ln \left(\frac{2m}{Z} + 1 \right) \right) (l + L) + 2 \cdot 0.077Z + \frac{m}{2} \right] \cdot 12;$$

$$C_{02} = \varepsilon_o \varepsilon \left[\frac{(d + d_1)l}{2Z} + 2 \left(0.26 \left(l + \frac{d + d_1}{2} \right) + \frac{1}{\pi} \ln \left(\frac{2m}{Z} + 1 \right) \right) \left(l + \frac{d + d_1}{2} \right) + 2 \cdot 0.077Z + \frac{m}{2} \right] \cdot 2;$$

$$C_{03} = \varepsilon_o \varepsilon \left[2 \cdot \left(0.52l + \frac{2l}{\pi} \ln \left(\frac{2m}{Z} + 1 \right) \right) \right] \cdot 4,$$

де: l – довжина V – подібної пластини, м; L – ширина сторони V – подібної пластини, м (рис. 8); m – товщина електрода, м; Z – зазор між електродами; d – ширина центральної частини центральної пари трапецієподібних пластин, м; d_1 – ширина центральної частини бічної пари трапецієподібних пластин, м. Повна ємність перетворювача дорівнює сумі ємностей C_{01} , C_{02} та C_{03} . Отримано залежність початкової ємності давача вологості від його габаритних розмірів, що має таку форму:

$$C_{01} = \varepsilon \varepsilon_o \left(\frac{(0.5\sqrt{D^2 - d^2} - 1.866Z)l}{Z} + 2(0.26 \left(l + 0.5\sqrt{D^2 - d^2} - 1.866Z \right) + \right.$$

$$+ \frac{1}{\pi} \ln \left(\frac{2m}{Z} + 1 \right) \left(l + 0,5 \sqrt{D^2 - d^2} - 1,866Z \right) + 2 \cdot 0,077Z + \frac{m}{2} \Big);$$

$$C_{02} = \varepsilon_o \varepsilon \left[3,605l + 2 \left(0,26(l + 3,605Z) + \frac{1}{\pi} \ln \left(\frac{2m}{Z} + 1 \right) (l + 3,605Z) + 2 \cdot 0,077Z + \frac{m}{2} \right) \right] \cdot 2;$$

$$C_{03} = \varepsilon_o \varepsilon \left[2 \cdot \left(0,52l + \frac{2l}{\pi} \ln \left(\frac{2m}{Z} + 1 \right) \right) \right] \cdot 4,$$

де D – внутрішній діаметр діелектричних кілець 5.

В четвертому розділі проведено дослідження пристрою для вимірювання вологості нафтопродуктів. Для дослідження або пошуку оптимальних умов потрібно побудувати математичну модель об'єкта оптимізації. В нашому випадку для побудови математичних моделей вимірювача вологості адекватні вирази одержано із використанням процедури ітераційного планування експерименту на третьому кроці ітерації: план дробового факторного експерименту (ДФЕ) з генерувальним співвідношенням $X_4 = X_1 X_2$; побудова плану ДФЕ до плану Рехтшафнера і побудова проведених раніше дослідів до плану повного факторного експерименту. Спочатку було прийняте рішення визначити рівень споживання енергії P_{cn} вимірювача вологості за такими параметрами (факторами): напруга живлення $U_{жив}$; значення початкової ємності C_o еталонного конденсатора в плечах мультівібратора; число витків основної обмотки W магніточутливого перетворювача; число витків W_1 додаткової мультівібраторної обмотки.

Математична модель рівня споживання енергії в натуральних значеннях факторів має таку форму:

$$P_{cn} = -730,84 + 196,18U_{жив} + 0,138C_o + 1,22W + 0,63W_1 - 0,313U_{жив}W - 0,073U_{жив}W_1 - 3,76 \cdot 10^{-4} C_o W_1 - 3,53 \cdot 10^{-3} W W_1 - 9,5 \cdot 10^{-4} C_o W + 4,7 \cdot 10^{-4} U_{жив} C_o W + 4,7 \cdot 10^{-4} U_{жив} W W_1 + 4,93 \cdot 10^{-5} U_{жив} C_o W_1 - 2,22 \cdot 10^{-2} U_{жив} C_o + 2,65 \cdot 10^{-6} C_o W W_1 - 3,87 \cdot 10^{-7} U_{жив} C_o W W_1.$$

Пошук мінімуму рівня споживання енергії за методом крутого сходження дозволив виявити оптимальні значення обраних факторів: $U_{жив} = 4,5 \text{ В}$; $C_o = 1082 \text{ нФ}$; $W = 201$; $W_1 = 292$, для яких $P_{cn} = 121,8 \text{ мВт}$.

Наступним параметром, за яким було проведено оптимізацію, є абсолютна похибка вимірів Δ створеного приладу. Фактори, за якими проводилося дослідження абсолютної похибки, це: напруга живлення $U_{жив}$; значення резистора на виході операційного підсилювача; число витків основної обмотки W магніточутливого перетворювача; число витків додаткової мультівібраторної обмотки W_1 .

Отримана математична модель абсолютної похибки вимірів в натуральних значеннях факторів наведена нижче:

$$\Delta = 0,1211 U_{жив} + 0,189 R + 0,0022W + 9,69 \cdot 10^{-4} W_1 + 0,0144 U_{жив} R - 3,6 \cdot 10^{-4} U_{жив} W -$$

- $1,83 \cdot 10^{-4} U_{жсив} W_1 - 1,09 \cdot 10^{-3} R W - 2,46 \cdot 10^{-4} R W_1 + 6 \cdot 10^{-6} W W_1 + 2,045 \cdot 10^{-4} U_{жсив} R W -$
 $- 7,73 \cdot 10^{-7} U_{жсив} W W_1 + 3,1 \cdot 10^{-5} U_{жсив} R W_1 + 4,64 \cdot 10^{-7} R W W_1 - 1,7 \cdot 10^{-7} U_{жсив} R W W_1 - 0,665.$
 Оптимізація рівня абсолютної похибки за методом крутого сходження дозволила виявити оптимальні значення обраних факторів: $U_{жсив} = 12 \text{ В}; R = 3,5 \text{ Ом}; W = 41; W_1 = 611$, для яких абсолютна похибка $\Delta = 0,109 \%$.

З метою проведення порівняльного аналізу виконано розрахунок рівня споживання енергії для значень факторів $U_{жсив}=12 \text{ В}; R=3,5 \text{ Ом}; W=41; W_1=611$, що відповідають оптимальній точності вимірів. Отримане значення споживаної потужності дорівнює 1,423 Вт, звідки видно, що рівень споживання енергії зростає приблизно в 10 разів. Результат розрахунку абсолютної похибки для значень факторів $U_{жсив}=4,5 \text{ В}; C_o=250 \text{ нФ}; W=201; W_1=292$, що відповідають значенню оптимальної споживаної потужності, складає $\Delta = 0,38\%$. Отже, точність вимірів за умов дотримання оптимуму енергоспоживання знижується в 4 рази.

За умови мінімальних вартісних витрат отримано лінійну математичну модель, що адекватно відтворює залежність діелектричної проникності нафтопродукту від вмісту вологи і дозволяє калібрувати ємнісні вологоміри та системи за спрощеною схемою:

$$\varepsilon = -0,015 + 0,998 \varepsilon_n - 0,012W + 0,035 \varepsilon_n W.$$

Отримана модель дозволяє спростити загальновизнану нелінійну залежність Вінера, калібрувати вологоміри із діапазоном вимірювання вологості від 0 до 30%, і є точнішою ніж лінійні аналоги.

П'ятий розділ присвячено забезпеченню точності керування зволоженням сипких речовин. Досліджена вище система АРПВ, споряджена відповідним чутливим елементом, може бути застосована, наприклад, для додавання води в зерно з метою автоматизувати процес його підготування до молоття, або для корекції дозування води в пісок для виготовлення бетонної суміші. Розроблений чутливий елемент системи являє собою новий давач вологості сипких матеріалів, який дозволяє здійснювати відбір проби матеріалу в будь-якій точці загального об'єму, виконувати її ущільнення за допомогою рухомої системи заслінок з однаковим зусиллям, та враховувати вплив температури, що забезпечує високий рівень відтворюваності вимірень.

Для перевірки подібних систем актуально використовувати пристрої – імітатори вологого матеріалу. Розроблений лабораторний імітатор являє собою діелектричний корпус із розміщеною в ньому системою некрізних отворів однакової глибини і різного діаметра, призначених для заповнення дистильованою водою. Створено алгоритм обчислення розмірів отворів та позицій їх розміщення, також розроблено методику заповнення отворів водою. Імітатор має абсолютну похибку 0,15% на діапазоні від 0 до 50% вологості. Для швидкої перевірки безпосередньо у

виробничих умовах запропоновано аналог, в якому засобом імітації вологи є діелектрична пластина із двобічним металевим покриттям, що може плавно пересуватись усередині корпусу.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено нову актуальну науково-технічну задачу з підвищення техніко – економічних показників систем керування процесами зволоження матеріалів.

В ході досліджень одержано такі основні наукові та практичні результати.

1. Проведений аналіз показав, що наявні системи та пристрої регулювання процесами зволоження матеріалів непридатні для подавання дозованої кількості води на вхід емульгатора через низьку точність регулювання ($2 \div 3$ %) або через їхню складність та громіздкість. Часті випадки постачання неякісного котельного палива (палива із вмістом води $5 \div 15\%$) роблять непридатними для використання системи, що не здатні враховувати початкову вологість матеріалу у процесі регулювання, а саме системи вагового обліку, системи пневматичного дозування, системи змішування компонентів з урахуванням їх витрати.

У результаті аналізу наявних вимірювачів вологості матеріалів було виявлено відсутність недорогих, портативних, нескладних у експлуатації і в той же час точних приладів. Дослідження ємнісних вимірювальних перетворювачів сучасних вимірювачів вологості нафтопродуктів виявило, що аналоги не відповідають сучасним вимогам. Така ж ситуація має місце для давачів польових вологомірів сипких матеріалів.

У ході аналізу було також зафіксовано відсутність засобів повірки та градування ємнісних вологомірів сипких матеріалів в будь-якій точці діапазону вимірів.

2. Розроблено функційну, структурні та принципову схеми системи автоматичного регулювання подаванням води в котельне паливо і створено дослідний зразок, призначений керувати процесом подавання води у змішувальний резервуар емульгатора із високою точністю дозування (не нижче 1%) з можливістю додавання води в діапазоні від 0 до 30% в загальному об'ємі палива. Система має гнучкість конструкції (можливість під'єднання до емульгаторів різних типів), малі габарити та проста в експлуатації.

3. Проведено дослідження системи АРПВ за перехідними процесами, отриманими в середовищі Simulink пакету Matlab 6.0. Показано, що для забезпечення якісного регулювання мінімальна кількість електроклапанів виконавчого механізму повинна бути не менше трьох.

4. Для випадку з трьома електроклапанами представлено спосіб усунення початкових автоколивань у системі, можливість досягнення високої точності регулювання (0,5%) та забезпечення стійкої роботи системи за змінювання часу запізнення в широкому діапазоні (від 2,32 с до 37 с) шляхом зменшення перерізу відповідних кульових кранів.

5. Шляхом моделювання в середовищі Simulink показано, що для досягнення високої точності регулювання 0,25% без додаткової настройки достатньо використати 8 електроклапанів. Дослідження системи із вісім'ю клапанами показали, що стійкість втрачається, коли час запізнення перевищує 27,6 с. Мінімум похибки регулювання (0, 25%) перебуває в діапазоні від 10 до 15 с часу запізнення.

6. Проведено аналіз системи для випадку застосування більшої кількості електроклапанів за методом В.М. Попова. Отримано перетворені АФЧХ системи, які показали, що стійкість зберігається у разі зміни запізнення від 2,32 до 39 с, запас стійкості системи для запізнення 2,32 с складає 1,63 за модулем та 175° за фазою. Із зростанням часу запізнення запас стійкості за обома параметрами в інтервалі часу запізнення від 10 с до 30 с складає 1,056 за модулем і 3° за фазою.

7. Розроблено функційну, електричну принципову схеми та дослідний зразок вимірювача вологості нафтопродуктів, який є складником системи. Розроблений первинний перетворювач системи забезпечує високу чутливість вимірювання (6,2 пФ на 1% вологості). Отримана залежність ємності первинного перетворювача від його габаритних розмірів.

8. Проведено дослідження рівня енергоспоживання та точності вимірювача вологості нафтопродуктів із використанням процедури ітераційного планування експерименту. У чотирифакторному просторі отримано математичні моделі пристрою для рівня енергоспоживання та значення абсолютної похибки. Проведено оптимізацію схемних параметрів вологоміра за отриманими математичними моделями. Виявлено оптимальні значення факторів для рівня енергоспоживання та точності. Показано, що в разі досягнення оптимуму енергоспоживання абсолютна похибка вимірів збільшується в 4 рази, а за досягнення оптимуму абсолютної похибки рівень енергоспоживання зростає в 10 разів.

9. З використанням методу планування оптимального за вартістю експерименту удосконалено математичну модель залежності діелектричної проникності матеріалу від вмісту вологи шляхом одержання лінійного аналога, що адекватно відтворює залежність діелектричної проникності нафтопродукту від вмісту вологи і дозволяє спростити процес калібрування ємнісних вологомірів і систем.

10. Розроблено новий давач вологості сипких матеріалів, що дозволяє підвищити точність вимірювання шляхом хорошої відтворюваності окремих вимірів.

11. Запропоновано нові імітатори вологого матеріалу, що дозволяють виконувати перевірку ємнісних вологомірів сипких матеріалів у будь – якій точці потрібного діапазону вимірів, градувати вимірювачі вологості з абсолютною похибкою 0,15% вологості.

12. Результати виконаних теоретичних та експериментальних досліджень впроваджено в практику підприємств та організацій: Центральний військовий санаторій - Гурзуфський філіал центру "ТКР-Крим", Міжнародний дитячий центр "Артек", Джанкойська філія АП

Кримтеплокомуненерго, Ялтинська філія АП Кримтеплокомуненерго, ОАО “Авіаконтроль” і в навчальний процес Національного аерокосмічного університету імені М.С. Жуковського “ХАІ”.

Список опублікованих праць за темою дисертації

1. *Заболотний О.В., Кошовий М.Д., Заболотний В.А.* Імітатор вологого матеріалу для перевірки ємнісних вологомірів // Авіаційно – космічна техніка і технологія. - Харків: Нац. аерокосмічний ун-т “ХАІ”. – 2000. - Вип. 21.- С. 119 – 122.

Здобувачеві належить ідея розміщення в діелектричному корпусі імітатора вологого матеріалу системи некрізних отворів і метод обчислення їхніх радіусів.

2. *Заболотний О.В., Кошовий М.Д., Заболотний В.А.* Імітатор вологого матеріалу // Вісник Східноукраїнського національного університету. – Луганськ: СХУ. - 2001. - №3 (37).- С. 118 – 122.

Здобувач розробив і дослідив точний імітатор сипкого вологого матеріалу.

3. *Заболотний О.В., Кошовий М.Д.,* Пристрій для визначення якості палива на АЗС // Автомобільний транспорт. – Харків: ХНАДУ. – 2001. - Вип. 7-8. - С. 166 – 168.

Здобувачеві належить розробка електричної схеми вимірювача вологості і його застосування для контролю якості палива на АЗС.

4. *Заболотний О.В., Кошовий М.Д.* Автоматизована система для контролю та вимірювання вологості речовин з діелектричними властивостями // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – Харків: ХДТУСГ. – 2001. – Вип. 6. – С 48 - 53.

Здобувачеві належить синтез структури автоматизованої системи вимірювання вологості сипких речовин.

5. *Заболотний О.В., Кошовий М.Д.* Датчик для вимірювання вологості нафтопродуктів // Вісник Черкаського державного технологічного університету.–Черкаси:ЧДТУ.-2002.- №3. -С. 9-11.

Здобувач запропонував спосіб підвищення точності давача вологості шляхом використання електродів V – подібної форми.

6. *Заболотний А.В.* Методы повышения эффективности работы котельных станций, использующих в качестве энергоносителей нефтепродукты // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харків: ХАИ. - 2003. - Вип. 19. - С. 283 – 289.

7. *Заболотний А.В.* Емкостный измеритель влажности сыпучих материалов//Труды научно-технической конференции «Системы управления – 2000».– Харків: «ХАИ». – 2000. - С. 9.

8. *Заболотний О.В.* Вимірювання вологості ємнісним методом // Праці науково – технічної конференції “Системи управління – 2001”. – Харків: “ХАІ”. - 2001. – С. 8.

9. *Заболотний О.В., Кошовий М.Д.* Технічні засоби градування та перевірки ємнісних вологомірів // Вісник Черкаського інженерно – технологічного інституту. – Черкаси. – 2001. – Спецвипуск: матеріали НТК “Приладобудування 2001” – С. 50-52.

Здобувач запропонував ідею вільного пересування діелектричної пластини між електродами давача.

10. *Заболотний О.В.* Вимірювальна комірка дількометричного вологоміру // Праці міжнародної науково – технічної конференції “ІКТМ – 2001”. – Харків. “ХАІ”. – 2001. - С. 146.

11. *Пат.* № 42228 України, МКВ G 01 N 27/22. Пристрій для перевірки ємнісних вологомірів / О.В. Заболотний, В.А. Заболотний, М.Д. Кошовий (Україна). - № 2000116747; Заявл. 28.11.2000; Опубл. 15.10.2001, Бюл. №9. – 3с.

Здобувачеві належить ідея розміщення в діелектричному корпусі імітатора вологого матеріалу системи некрізних отворів і метод обчислення їхніх радіусів.

12. *Пат.* № 43725 України, МКВ G 01 N 27/22. Пристрій для вимірювання вологості матеріалів / О.В. Заболотний, В.А. Заболотний, М.Д. Кошовий, О.М. Кошовий (Україна). - № 2001064082; Заявл. 14.06.2001; Опубл. 17.12.2001, Бюл. №11. – 4с.

Здобувачеві належить розробка електричної схеми вимірювача вологості і його застосування для контролю якості палива на АЗС.

13. *Пат.* 45846 Україна, МКВ G 01 N 27/22. Пристрій для перевірки ємнісних вологомірів / О.В. Заболотний, В.А. Заболотний, М.Д. Кошовий (Україна). - № 2001075231; Заявл. 23.07.2001; Опубл. 15.04.2002, Бюл. №4. – 3с.

Здобувач запропонував ідею вільного пересування діелектричної пластини між електродами давача.

14. *Zabolotny A.V., Koshevoi M.D., Gordienko V.A.* Improving efficiency of the Quality Control of Substances with Dielectric Properties // Telecommunications and Radio Engineering. - 2002. - № 57 (2-3). - P. 184 – 196.

Здобувач розробив давач вологості сипких матеріалів, що забезпечує підвищену точність вимірювання.

15. *Заболотний О.В., Кошовий М.Д.* Вимірювач вологості емульгованих мазутів “Aqua – 1” // Труды международной научно – технической конференции «Приборостроение – 2002». – Винница– Алушка. – 2002. – С. 40 – 41.

Здобувачеві належать результати самоатестації вимірювача вологості.

16. *Пат.* № 48596 України, МКВ G 01 N 27/22. Ємнісний вимірювальний перетворювач / О.В. Заболотний, В.А. Заболотний, М.Д. Кошовий, (Україна). - № 2001107200; Заявл. 23.10.2001; Опубл. 15.08.2002, Бюл. №8. – 2с.

Здобувач запропонував спосіб підвищення точності давача вологості шляхом використання електродів V – подібної форми.

17. *Заболотний О.В., Кошовий М.Д., Гаєвий В.О.* Проблеми контролю якості нафтопродуктів в умовах сучасного процесингу // Стратегія економічного розвитку України. – Київ.: КНЕУ. – 2002. – Вип. 4 (11). - С. 73 – 77.

Здобувач дослідив можливість використання і схему використання давача вологості нафтопродуктів в структурі сучасної АЗС.

18. *Пат. № 49542* України, МКВ G 01 N 27/22. Ємнісний датчик вологості сипких матеріалів / О.В. Заболотний, В.А. Заболотний, М.Д. Кошовий, (Україна). - № 2001128984; Заявл. 25.12.2001; Опубл. 16.09.2002, Бюл. №9. – 6с.

Здобувач розробив давач вологості сипких матеріалів, що забезпечує підвищену точність вимірів.

19. *Пат. № 53186* України, МКВ G 01 N 27/22. Ємнісний вимірювач вологості матеріалів / О.В. Заболотний, В.А. Заболотний, М.Д. Кошовий (Україна). - № 2002042547; Заявл. 01.04.2002; Опубл. 15.01.2003, Бюл. №1. – 5с.

Здобувачеві належить розробка функційної схеми вимірювача вологості з підвищеною точністю вимірювання.

20. *Пат. 62125* Україна, МКВ G 01 N 27/22. Ємнісний датчик вологості / О.В. Заболотний, В.А. Заболотний, М.Д. Кошовий (Україна). - № 20021210070; Заявл. 13.12.2002; Опубл. 15.12.2003, Бюл. №12. – 2с.

Здобувачеві належить ідея жорсткого закріплення плоских електродів на діелектричних перемичках.

21. *Заболотний О.В.* Забезпечення умов відтворюваності під час вимірювання вологості сипких матеріалів // Праці міжнародної науково – технічної конференції “ІКТМ - 2002”. – Харків. “ХАГ”. – 2002. - С. 94.

22. *Заболотний О.В., Кошовий М.Д., Заболотний В.А.* Синтез ємнісного вимірювального перетворювача для контролю якості нафтопродуктів // Гиротехнологии, навигация, управление движением и конструирование авиационно – космической техники. Сборник докладов. Часть II. - Киев. – 2003. - С. 339 – 344.

Здобувачеві належить методика розрахунку початкової ємності давача вологості нафтопродуктів.

23. *Заболотний О.В., Кошовий М.Д.* Особливості вимірювання вологості нафтопродуктів // Наука и предпринимательство. Сборник трудов международного симпозиума. – Винница – Каменец – Подольский. – 2003. - С. 228 – 230.

Здобувач створив давач вологості нафтопродуктів із підвищеною точністю та чутливістю, а також визначив напрямки його подальшого удосконалення.

24. *Заболотний О.В., Кошовий М.Д.* Підвищення теплотворної спроможності котельного палива // Труды XII Международной научно – технической конференции «Приборостроение – 2003». - Винница – Кореиз. - 2003. - С. 51 – 55.

Здобувач запропонував принцип керування електроклапанами виконавчого механізму і функційну схему системи АРПВ, удосконалену завдяки використанню регулятора витрати води у формі двійково – реверсивного лічильника із задавачем швидкості відпрацювання керівного сигналу.

25. *Пат. 63656* Україна, МКВ G 05 D 22/00. Пристрій для регулювання вологості матеріалів / О.В. Заболотний, Г.О. Черепашук, М.Д. Кошовий, О.П. Потильчак, Є.Є. Рубцов (Україна). - № 2003054594; Заявл. 21.05.2003; Опубл. 15.01.2004, Бюл. №1. – 4с.

Здобувачем запропонував принцип керування електроклапанами виконавчого механізму і функційну схему системи АРПВ, удосконалену завдяки використанню регулятора витрати води у формі двійково – реверсивного лічильника із задавачем швидкості відпрацювання керуючого сигналу.

26. *Заболотный А.В., Кошевой Н.Д.* Разработка, исследование и оптимизация устройства для контроля качества диэлектрических материалов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – Москва: “Научтехиздат”. - 2004. - № 1. – С. 39 – 42.

Здобувачеві належать синтез математичних моделей вимірювача вологості нафтопродуктів і оптимізація його схемних параметрів за точністю та енергоспоживанням.

АНОТАЦІЇ

Заболотний О.В. Підвищення техніко – економічних показників систем керування процесами зволоження матеріалів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація технологічних процесів. Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2004.

Дисертаційну роботу присвячено підвищенню техніко – економічних показників систем керування процесами зволоження матеріалів.

В дисертації удосконалено принцип керування електроклапанами виконавчого механізму системи автоматичного регулювання подаванням води в котельне паливо, який полягає в отриманні на виході виконавчого механізму квантованого за рівнем вхідного потоку води. Структура системи, удосконалена у відповідності з цим принципом, складається з регулятора витрати води у формі двійково – реверсивного лічильника, спорядженого задавачем швидкості відпрацювання керівного сигналу. З метою забезпечити високу точність керування проведено дослідження режимів роботи системи із різною кількістю електроклапанів у виконавчому

механізмі за перехідними процесами та перетвореними АФЧХ. Для забезпечення якості регулювання розроблено точний та чутливий вимірник вологості нафтопродуктів. З використанням процедури ітераційного планування експерименту здійснено оптимізацію вологоміра за точністю та енергоспоживанням. За умови мінімальних вартісних витрат удосконалено модель залежності діелектричної проникності водно – паливної емульсії від вмісту вологи. Для забезпечення точності керування процесами зволоження сипких речовин розроблено новий первинний перетворювач та імітатори вологого матеріалу.

Ключові слова: керування процесом зволоження, стійкість, вологомір, первинний перетворювач вологості, точність, чутливість.

Заболотный А.В. Повышение технико – экономических показателей систем управления процессами увлажнения материалов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – автоматизация технологических процессов. Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2004.

Диссертационная работа посвящена повышению технико – экономических показателей систем автоматического управления процессами увлажнения материалов.

В диссертации усовершенствован принцип управления электроклапанами исполнительного механизма системы автоматического регулирования подачи воды в котельное топливо, который заключается в получении на выходе исполнительного механизма квантованного по уровню входного потока воды. Структура системы, усовершенствованная в соответствии с этим принципом, состоит из регулятора расхода воды в виде двоично – реверсивного счетчика, оснащенного задатчиком скорости отработки управляющего сигнала. Разработана функциональная, структурная, принципиальная схемы системы и создан опытный образец, предназначенный для управления процессом подачи воды в смесеприготовительный резервуар эмульгатора с высокой точностью дозирования (1%), с возможностью добавления воды в диапазоне от 0 до 30% в общем объеме топлива. Система имеет такие положительные свойства как гибкость конструкции, малые габариты и простоту эксплуатации. Для исследования системы на предмет определения критического времени запаздывания и областей устойчивости синтезированы соответствующие структурные схемы. Получены переходные процессы в среде Simulink пакета Matlab 6.0 для ступенчатого входного сигнала 20% влажности. Для случая с тремя электроклапанами представлены способ устранения начальных автоколебаний в системе, возможность достижения высокой точности регулирования (0,5%) и обеспечение устойчивой работы системы при изменении времени запаздывания в широком диапазоне (от 2,32 с до 37 с) путем уменьшения сечения соответствующих шаровых кранов. Принимая во внимание тот факт,

что для случая с тремя электроклапанами достижение высокой точности регулирования требует дополнительной настройки, исследован другой путь повышения точности – увеличение числа клапанов исполнительного механизма. Посредством моделирования в среде Simulink показано, что для достижения высокой точности регулирования 0,25% без дополнительной настройки достаточно использовать 8 электроклапанов. Потеря устойчивости в этом случае происходит, когда величина запаздывания превышает 27,6 с. Минимум ошибки регулирования находится в диапазоне времени запаздывания от 10 до 15 с и составляет 0,25%. Проведен анализ системы для случая использования большего количества электроклапанов по методу В.М. Попова. Получены преобразованные АФЧХ системы, которые показали, что устойчивость сохраняется при изменении времени запаздывания от 2,32 до 39 с, запас устойчивости системы при запаздывании 2,32 с составляет 1,63 по модулю и 175° по фазе. С увеличением времени запаздывания от 10 с до 30 с запас устойчивости по обоим параметрам уменьшается.

Зная, что качество регулирования зависит не только от точности отработки исполнительным механизмом управляющих сигналов, а и от точности измерения влажности, разработаны функциональная, электрическая принципиальная схемы и опытный образец измерителя влажности нефтепродуктов. Разработанный датчик влагомера обеспечивает высокую чувствительность измерений (6,2 пФ на 1% влажности). Получена зависимость емкости датчика от его габаритных размеров с применением теории пространственных характеристик электрического поля. Проведено исследование измерителя влажности нефтепродуктов с использованием итерационной процедуры планирования эксперимента. Впервые получены математические модели, которые воспроизводят зависимость потребляемой мощности и абсолютной погрешности влагомера от его схемных параметров. По полученным математическим моделям проведена оптимизация методом крутого восхождения. Результаты исследований показали, что минимальный уровень энергопотребления составляет 121,8 мВт, а минимальное значение абсолютной погрешности измерений – 0,109%. Показано, что при достижении оптимального значения уровня энергопотребления абсолютная погрешность измерений возрастает в 4 раза, а при достижении оптимального значения абсолютной погрешности уровень энергопотребления возрастает в 10 раз. Используя метод планирования оптимального по стоимости эксперимента усовершенствована математическая модель зависимости диэлектрической проницаемости нефтепродукта от влагосодержания, которая позволяет выполнять калибровку влагомеров нефтепродуктов аналитически. Полученная модель проще общепризнанной зависимости Винера и намного точнее линейных аналогов.

Система АРПВ, снаряженная соответствующим датчиком, может быть использована, например, для добавления воды в сыпучие вещества. Разработанный датчик позволяет проводить отбор пробы материала в любой точке общего объема, осуществлять ее уплотнение с помощью

подвижной системы заслонок с одинаковым усилием и учитывать влияние температуры, что обеспечивает хорошую воспроизводимость измерений. Для поверки подобных систем разработан лабораторный имитатор влажного сыпучего материала, имеющий абсолютную погрешность 0,15% в диапазоне от 0 до 50% влажности. Для быстрой поверки непосредственно в производственных условиях предложен аналог, в котором средством имитации влажности является диэлектрическая пластина с двухсторонним металлическим покрытием, которая может плавно перемещаться внутри корпуса.

Ключевые слова: управление процессом увлажнения, устойчивость, влагомер, первичный преобразователь влажности, точность, чувствительность.

Zabolotny A.V. Technical and economic parameters increase for the humidifying processes control systems. – Manuscript.

Thesis on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science on a specialty 05.13.07 – automation of technological processes. National Technical University “Kharkov Polytechnical Institute”, Kharkov, 2004.

Dissertation work is devoted to technical and economic parameters increase for the humidifying processes control systems.

In the dissertation work a principle of executive mechanism's electric valves of the system of automatic water delivery into a fuel oil is improved. It consists in receiving of the quantized input water flow by its level on the executive mechanism's output. The structure of the system, improved according to the principle, mentioned above, consists of water delivery regulator based on a binary-decimal reversal counter, equipped with a regulator of the speed of a control signal execution. To provide high quality control the accurate and sensitive humidity meter in oil products is developed. With the help of iterative experiment planning procedure accuracy and power consumption optimization of the humidity meter is spent. Mathematical model which reflects the dependence of oil product permittivity from moisture content with minimal cost expenses is improved. To provide the accuracy of dry materials humidity control the new gauge and damp material simulators are developed.

Keywords: humidifying process control, stability, humidity meter, humidity gauge, accuracy, sensitivity.